

Тема 1. Основная задача кинематики

Изучение физики мы начинаем с КИНЕМАТИКИ.

Кинематика – наука о движении. От того же корня «кинематограф» - движущиеся картинки.

Какова основная задача кинематики? Предположим, мы специалисты космического центра и задумали запустить ракету на Марс. Ракета, стартуя с Земли, полетит по прямой. А Марс движется вокруг Солнца по круговой орбите. Как прицелиться, чтобы попасть? Ведь время полёта до Марса примерно полгода. Нам надо пускать ракету не в ту точку, где Марс в момент пуска, а в ту, где он будет находиться через полгода. Вот, блин, задачка!

Следовательно, нужно знать формулу полёта ракеты (то есть зависимость её координат в пространстве от времени), и формулу движения Марса по его орбите (опять же зависимость координат, определяющих местонахождение Марса, от времени). А потом приравнять эти формулы так, чтобы в один и тот же момент времени оба этих объекта оказались в одной и той же точке пространства.

Вывод таких формул – это и есть основная задача кинематики.

Чтобы было понятней, давайте выведем такую формулу (назовём её «кинематический закон движения») для самого простецкого случая – тело движется вдоль прямой линии равномерно, то есть с постоянной скоростью. Скорость, в нашем примере, это отношение пройденного пути S к промежутку времени t , за который данный путь был пройден.

$$v = S/t$$

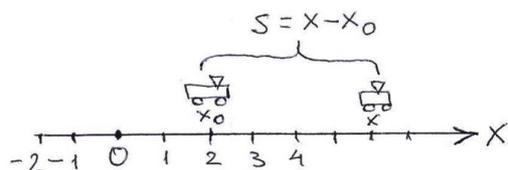
Если известны скорость и время – легко найти пройденный за это время путь

$$S = vt$$

Поскольку мы хотим определить зависимость положения движущегося тела в пространстве от времени, нам никак не обойтись без КООРДИНАТ, которые собственно и определяют положение в пространстве.

В нашем простецком случае движение происходит вдоль прямой (типа, поезд по рельсам), поэтому достаточно вдоль этой прямой пустить одну координатную ось X , выбрать на ней начало отсчёта, положительное направление и разметить «метровыми столбиками».

Допустим, наше тело в самом начале движения имело координату x_0 . А



через некоторое время t оно оказалось в точке с координатой x . Получается, что оно прошло путь $S = x - x_0$. Если нарисовать картиночку, это вообще очевидно.

Но, с другой стороны, мы уже говорили, $S = vt$. Приравниваем $x - x_0 = vt$. Переносим

икс нулевое в правую часть уравнения с противоположным знаком и получаем

$$\mathbf{x = x_0 + vt} \quad (1.1)$$

Вот это оно и есть! «Кинематический закон движения» для простецкого случая - прямолинейного равномерного движения! Основная формула, ради которой мы учим кинематику!

Это закон, так сказать, в общем виде. А взять, допустим, некое конкретное тело, оно имело начальную координату в момент старта 50 м и двигалось со скоростью 30 м/с. Тогда, формула для нахождения координаты этого тела будет выглядеть так

$$x = 50 + 30t$$

Подставляй вместо t любой интересующий тебя момент времени – и ты абсолютно точно узнаешь, где в этот миг находится движущееся тело!

В этом месте надо оторваться от чтения, поднять глаза в потолок и вслух сказать: «Основная задача кинематики – уметь определить точные координаты движущегося тела в любой момент времени». Можно раза три повторить. Потому что дальше мы будем рассматривать более сложные случаи и писать более «мутные» формулы – но при этом следует ясно понимать, ради чего это делается.

Один, немножечко усложнённый, случай мы сразу и рассмотрим.

Равномерное движение встречается крайне редко. Взять тот же поезд. Ведь он сначала трогается, разгоняется, выходит на заданную скорость, но она

то и дело меняется – то подъем, то спуск, то светофор, то знак ограничения! А там уж и остановка для посадки-высадки пассажиров.

Как же можно говорить о скорости поезда, какая она? Легко посчитать среднюю скорость: расстояние между двумя станциями поделить на время движения. Но она нужна разве что для составления расписания. А есть ещё так называемая «мгновенная» скорость – та самая, которую в данное мгновение показывает скоростемер на локомотиве (он, действительно, называется не спидометр, как на автомобиле, а скоростемер). Эта



мгновенная скорость характеризует только данный момент движения, через секунду она уже может быть другая! Можно бы мгновенную скорость обозначить как-то так $v_{\text{мгн}}$. Но – послушай – если поезд движется даже совершенно равномерно, то его скоростемер всё равно будет показывать мгновенную скорость, только она в этом случае будет всё время одна и та же. Поэтому не будем вводить никаких новых обозначений, будем так же и обозначать просто v , и называть просто «скорость», но под этим названием и этим обозначением будем понимать именно мгновенную скорость в данный момент времени.

Итак, мы говорили, что если скорость с течением времени не меняется, то это движение равномерное. А если меняется – неравномерное.

Характеристикой неравномерного движения является ускорение. Допустим, тело разгоняется. В некий начальный момент, когда мы стали за ним наблюдать, его скорость была v_0 , а через некоторое время t стала равна v . Тогда

$$a = \frac{v - v_0}{t}$$

отношение изменения скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло, называется **ускорением**. Понятно: чем больше изменилась скорость за определенное время – тем быстрее тело разгоняется, тем больше ускорение. А если тело замедляется? Тогда v будет меньше, чем v_0 , и в числителе получится знак минус, и вообще ускорение будет иметь знак минус. Ну и ладно. Так и говорят: не «замедленное» движение, а ускоренное движение с отрицательным ускорением.

Единица измерения скорости м/с, да ещё и в знаменателе секунда, поэтому единица измерения ускорения м/с².

Мы говорили, что равномерное движение встречается редко. А ускоренное – встречается ли оно? Да, причём самый выразительный пример – свободное падение тел. Про свободное падение следует рассказать чуть подробнее.

Древний философ Аристотель, учитель Александра Македонского, учил так: тяжёлое тело падает быстрее, чем лёгкое. Во сколько раз вес тела больше, во столько же раз больше скорость его падения. Почти две тысячи лет это утверждение не подвергалось сомнению. Но юноша по имени Галилео Галилей засомневался. Он рассуждал так. Гири весом 2 кг должна падать, согласно Аристотелю, в 2 раза быстрее, чем гиря 1 кг. А если их связать верёвочкой. Получится гиря 3 кг, которая должна падать в 3 раза быстрее килограммовой. Но – можно судить и так: в этой связке килограммовая будет, падая медленней, подтормаживать двухкилограммовую, поэтому их суммарная скорость должна быть равна полтора... Логический тупик!

- А почему бы не проверить это практически? – подумал Галилей. Он влез на Пизанскую башню (в городе Пизе, которая уже тогда была наклонной) и стал с неё сбрасывать пушечные и мушкетные ядра разного размера и веса.



И обнаружил, что Аристотель, считавшийся до сей поры непререкаемым авторитетом, неправ. Ядра достигают земли одновременно, независимо от веса! Все тела падают одинаково. Их падение – равноускоренное. Причем, ускорение для всех падающих тел одинаковое, оно составляет 10 м/с^2 , называется «ускорением свободного падения» и обозначается не буквой a , а буквой g .

Галилей за этот поступок получил звание «отца экспериментальной физики». Типа, размышляй, строй гипотезы, но проверкой истинности или ложности твоих гипотез является эксперимент, опыт.

Повседневные наблюдения, казалось бы, противоречат открытию Галилея. Но – вспомним знаменитый опыт с пёрышком и дробинкой (опыт Ньютона). В стеклянную пробирку кладут пёрышко и свинцовую дробинку. Переворачивают пробирку и наблюдают за их падением. Дробинка падает быстрее. Затем из пробирки откачивают воздух и эксперимент повторяют. Оп-па! Оба предмета падают с одинаковой скоростью! Виноват был воздух, который тормозил падение пёрышка! Поэтому и говорят не просто о «падении», а о «свободном падении», то есть о таком, когда исключается сопротивление окружающей среды.

Формулу, с помощью которой мы ввели понятие «ускорение» легко преобразовать к такому вот виду

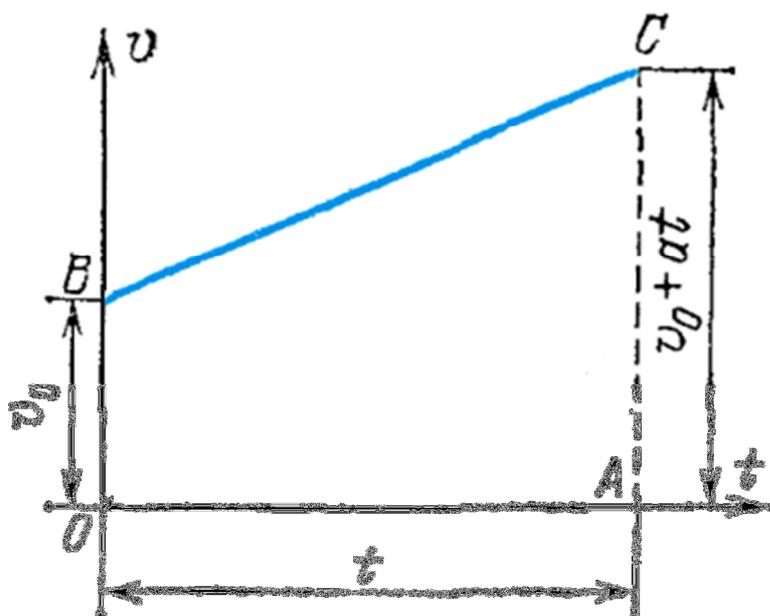
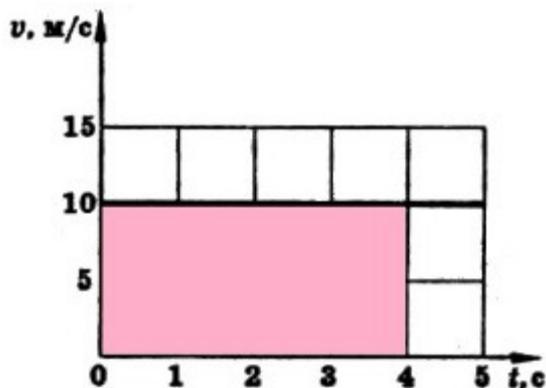
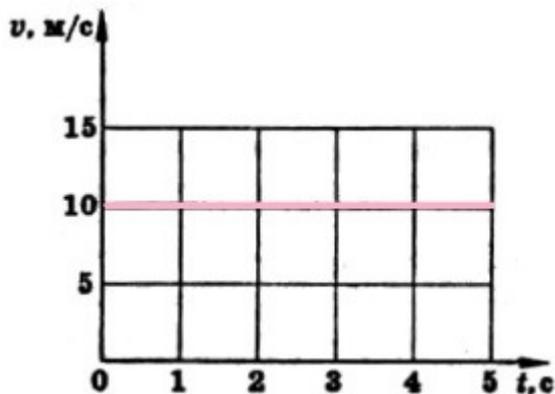
$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_0 + \mathbf{a}t \quad (1.2)$$

По ней можно, зная начальную скорость и ускорение, найти ту скорость, которое приобретет ускоряющееся тело через любое время t . Например, Галилей бросил с Пизанской башни ядро. Ну, как бросил – просто разжал пальцы и отпустил, то есть начальная скорость была равна нулю. С какой скоростью будет лететь ядро через 5 секунд (в конце пятой секунды падения)? Легко! $v = 0 + 10 \times 5 = 50$ (м/с).

Мы употребили термин «равноускоренное» движение, но никак не прокомментировали его. Равноускоренным движением называется такое, если за равные промежутки времени скорость изменяется (прирастает или убавляется) на одну и ту же величину. В общем случае, может быть и не равноускоренное, а так сказать, «по-разному-ускоренное», но мы его рассматривать не будем.

Как найти пройденный путь S при равноускоренном движении? Здесь надо прибегнуть к графическим построениям.

Вот на этих двух рисунках изображен график движения некоторого тела в осях v, t (то есть, показана зависимость скорости от времени). На левой картинке видно, что время идёт, а скорость остаётся неизменной 10 м/с. Это – равномерное движение со скоростью 10 м/с. Какой путь S пройдет это тело за 4 секунды? На правой картинке показан графический ответ на этот вопрос: $S = 10 \times 4 = 40$ м. Пройденный путь равен площади розового прямоугольника, показанного на правой картинке.



Если же тело двигалось равноускорено, его скорость за промежуток времени t изменится от v_0 до v . Поэтому график равноускоренного движения в осях v, t будет не прямая, параллельная оси t , как при равномерном движении, а наклонная прямая, показанная на рисунке синим цветом. Но путь, пройденный телом при равноускоренном

движении, можно найти таким же образом – как площадь фигуры $OBCA$. Это – трапеция, в которой одно основание OB ; другое основание AC , высота AO . Кто помнит геометрию, тот скажет, что площадь трапеции равна полусумме оснований, умноженной на высоту. Основание OB – равно v_0 . Основание AC равно v , которая, согласно ранее выведенной формуле (2), может быть представлена так $v_0 + at$. Поэтому

$$S = \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \cdot t = \frac{2v_0 + at}{2} \cdot t = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1.3)$$

Теперь повторим рассуждение, которое мы уже делали для случая равномерного движения. Некое тело движется вдоль координатной оси X . В самом начале движения оно имело координату x_0 . А через некоторое время t оно оказалось в точке с координатой x . Получается, что оно прошло путь $S = x - x_0$. Но тело двигалось равноускорено, поэтому пройденный путь выражается формулой (1.3). Приравняем, перенесем икс нулевой и получим следующее:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (1.4)$$

Мы получили «кинематический закон движения» для случая прямолинейного равноускоренного движения. Опять же, если рассматривать какое-нибудь конкретное движущееся тело, то у него, например, начальная координата x_0 была 8 м; начальная скорость v_0 была 2 м/с; ускорение было 8 м/с². Тогда закон движения для данного конкретного тела будет иметь такой вид:

$$x = 8 + 2t + 4t^2$$

Подставляй в эту формулку любое интересующее значение t – и найдёшь координату x , показывающую, где именно в этот момент находится равноускорено движущееся тело.

Вопросы для повторения. Даже если никакой учитель тебя не будет спрашивать, ответь на них сам себе (и лучше вслух).

1. Сформулируй основную задачу кинематики, планируя дерзкий полет на Марс.
2. Выведи «кинематический закон движения» для случая равномерного прямолинейного движения (формулу 1), не подглядывая в конспект.
3. Какую скорость показывает скоростемер электровоза или спидометр автомобиля?
4. Сформулируй понятия «ускорение», «равноускоренное движение». Как найти конечную скорость при равноускоренном движении, если известна начальная скорость, ускорение и время движения? Выведи формулу (1.2) из определения понятия ускорение.
5. Почему Галилея называют «отцом экспериментальной физики»? Перескажи этот занимательный рассказ.
6. Выведи с помощью графиков «кинематический закон движения» для равноускоренного прямолинейного движения.